Aus dem
Arbeitsphysiologischen Institut der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau
Direktor: Prof. Dr. Adolf Basler

Die Grösse der Gelenkbewegungen bei einigen Arbeiten, verglichen mit den willkürlich eben noch ausführbaren.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades in der Medizin
bei der Hohen Medizinischen Fakultät der
Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Breslau

Vorgelegt von

Jürgen Hanow

Breslau.

Breslau 1940.

Buchdruckerei und Verlag Eugen Jakubik, Breslau 10, Wörtherstrasse Nr. 6

Gedruckt mit Genehmigung
der medizinischen Fakultät der Universität Breslau.

I. Referent: Prof. Dr. Basler
II. Referent: Prof. Dr. Schriever
Dekan: Prof. Dr. Gottron.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit!

Die gewöhnlichen Tätigkeiten führt man nicht mit den größtmöglichen Bewegungen aus, die absichtlich zustande gebracht werden können, sondern nahezu bei allen Arbeiten sind die erforderlichen Drehungen der einzelnen Gliedabschnitte wesentlich kleiner. Denn die Körperteile werden nur soweit bewegt, wie es zur Erreichung des beabsichtigten Zwecks erforderlich ist.

Eine Ausnahme bilden nur die beruflichen Arbeiten mit solchen Werkzeugen, bei denen die Schwungkraft der bewegten Masse ausschlaggebend ist. So führt man z. B. beim Holzhauen die Axt über den Kopf und schlägt mit großer kinetischer Energie auf das zu zerkleinernde Holz herunter. Bei der Arbeit mit der schweren Axt sind also große, fast maximale Bewegungen in den Gelenken und Gliedabschnitten erforderlich.

Bei einem Schuhmacher dagegen sind die Bewegungen beim Einschlagen der kleinen Holznägelchen in die Sohle mit einem leichten Hammer verhältnimäßig klein und werden fast nur mit dem Ellenbogengelenk und Handgelenk ausgeführt. Wendet man bei einer Tätigkeit größere Bewegungen an, als erforderlich ist, so tritt bei anhaltender Arbeit eine schnellere Ermüdung ein. Der Zweck wird dabei nicht besser, sondern schlechter erreicht. [1])

Die Größe der Gelenkbewegungen bei einzelnen Arbeiten festzustellen, ist der Zweck der vorliegenden Untersuchungen, die ich auf Veranlassung von Herrn Prof. Basler in den Jahren 1939 und 1940 im Arbeitsphysiologischen Institut in Breslau durchgeführt habe.

Tätigkeiten mit der oberen Extremität.

Um die Winkelgrößen einer Gliedstellung bei einer Arbeitstätigkeit zu messen, mußte wegen der Schnelligkeit, mit der diese Bewegungen vor sich gehen, die photographische Fixierung zu Hilfe genommen werden. Für die obere Extremität wurde zu diesem Zwecke die Kinematographie angewendet. Der Aufnahmeapparat (k Abb. 1) stand in acht Meter Abstand von der Versuchsperson (v.) Diese führte in einem verdunkelten Raume die zu untersuchenden Tätigkeiten auf einem Tisch (t.) aus. Dahinter stand ein transparenter Schirm (s.), der von hinten mit einer hellen Lichtquelle (L) beleuchtet wurde. So wurde auf dem Film eine Serie von Silhouetten des Oberkörpers und des tätigen Armes festgehalten.

[1]) G. Lehmann in Atzlers „Körper und Arbeit", S. 62, (64) 1927.

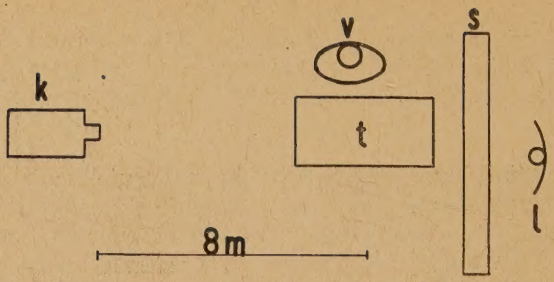

Abb. 1 Schematische Darstellung der Versuchsanordnung von oben gesehen. Der Abstand der Lichtquelle (L) vom Schirm (s) ist absichtlich zu klein gezeichnet.

Da aber, wie bei allen Schattenbildern, der Oberarm zum Teil durch den Körper verdeckt wird, wurden am Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk Lichtpunkte angebracht. Diese bestanden aus kleinen elektrischen Glühbirnen. Sie wurden mit Heftpflaster auf der Haut des unbekleideten Armes befestigt und waren durch leicht bewegliche Drähte mit einem Akkumulator verbunden. Es handelt sich dabei um eine Methode, wie sie im Arbeitsphysiologischen Institut schon mehrfach angewendet wurde. [1]).

Die meisten meiner Untersuchungen wurden mit entblößtem Oberkörper durchgeführt. Da aber bei der tatsächlichen Ausführung der untersuchten, beruflichen Arbeiten der Oberkörper bekleidet ist, wurden, um die natürlichen Bewegungen möglichst genau nachzuahmen, auch einige Versuche ausgeführt, bei denen die Versuchsperson ein Hemd trug. Natürlich mußte auch hier der Arm bis zur Schulter entblößt sein, damit die die Gelenkpunkte darstellenden Lampen aufgeklebt werden konnten.

Bei der Vornahme dieser Untersuchungen ergab sich kein Unterschied gegenüber den zuerst beschriebenen. Trotzdem habe ich als Beispiel in Abbildung 4 (Seite 5) zwei Bildchen dieser Serie wiedergegeben.

Schlagen mit einem schweren Hammer.

Die Versuchsperson stand vor dem Tisch (t) und schlug mit einem 250 Gramm schweren Hamer einen Nagel in ein auf dem Tisch liegendes Brett. Bei der Aufstellung wurde darauf geachtet, daß der arbeitende Arm sich in einer zu dem Schirm parallelen Ebene bewegte.

Da die einzelnen kinematographischen Aufnahmen sich schnell folgten, erhielt ich für den Ablauf eines Hammerschlages eine Serie von 14 Bildchen. An ihnen wurde die Phase mit der größten Er-

[1]) G. Hoßfeld. Über die Drehungen des Fußes um seine Längsachse. Diss. Breslau 1939.

hebung und diejenige beim Aufschlagen des Hammers ausgesucht. Als Beispiel möge Abbildung 2 dienen, bei der links die höchste Erhebung des Armes und rechts das Aufschlagen des Hammers zu sehen ist.

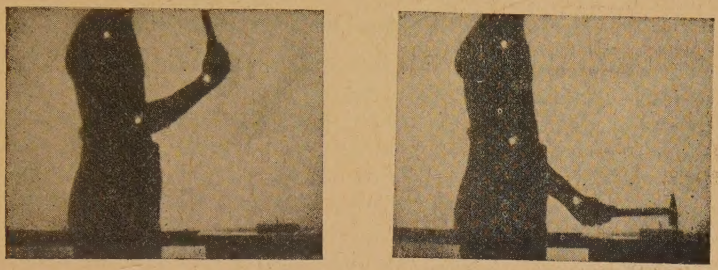

Abb. 2 Schattenbilder des Armes mit den Lichtpunkten beim Schlagen mit dem schweren Hammer.

Zum Ausmessen wurden die Lichtpunkte, welche die Gelenke bezeichnen, durch je einen Strich miteinander verbunden. Um die so entstandenen Winkel zu bestimmen, wurde als Ausgangspunkt die Lage angenommen, bei welcher der Arm senkrecht herabhängt. Bei der Messung dieser Winkel ergab sich, daß in den meisten Fällen der Oberarm beim Ausholen gegenüber der Ausgangslage um 24 Grad gehoben war, beim Schlage dagegen nur um 4 Grad. Der Oberarm ist demnach um 20 Grad bewegt worden. Für das Ellenbogengelenk betrug der Winkel zwischen Ober- und Unterarmachse beim Ausholen 80 Grad und beim Schlage 137 Grad. Im Ellenbogengelenk fand somit eine Bewegung von 57 Grad statt. Das Handgelenk stand bei dieser Tätigkeit in Mittelstellung von Pro- und Supination. Als Anhaltspunkt der Messung diente hier der Winkel zwischen der Unterarmachse und der Achse durch die geballte Faust, das heißt den Hammerstiel. Dieser Winkel betrug beim Ausholen 126 Grad und beim Schlage 140 Grad. Das Handgelenk hat sich demnach um 14 Grad bewegt. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse noch einmal zusammengestellt.

Tabelle 1.

Die Winkel an den Gelenken beim Schlagen mit dem großen Hammer

Gelenk	beim Schlage	beim Ausholen	ausgeführte Bewegung
Schultergelenk	24 °	4 °	20 °
Ellenbogengelenk	80 °	137 °	57 °
Handgelenk	126 °	140 °	14 °

Die größten Bewegungen beim Schlagen mit einem schweren Hammer wurden also im Ellenbogengelenk ausgeführt, während das Schultergelenk und das Handgelenk sich nur um 20 Grad und 14 Grad bewegten.

Schlagen mit einem leichten Hammer.

Ein leichter Hammer (100 Gramm) wird beispielsweise benutzt zum Einschlagen von kleinen Nägelchen und dann bei allen feinmechanischen Arbeiten z. B. vom Uhrmacher. Die Bewegungen in den Gelenken erfolgten hier ebenfalls parallel zur Schirmebene, waren aber kleiner und durchaus verschieden von denjenigen mit dem schweren Hammer. Der kleine Hammer braucht entsprechend seinem Gewicht eine geringere Schwungkraft. Die Winkel wurden wie bei dem ersten Versuch mit dem schweren Hammer festgelegt. Nach den Kinoaufnahmen stand die Oberarmachse beim Ausholen um 6 Grad nach rückwärts, und beim Schlage befand sich der Arm in der Ausgangsstellung, der Oberarm macht demnach eine Bewegung nach vorwärts um 6 Grad. Im Ellenbogengelenk betrug der Winkel zwischen Ober- und Unterarmachse beim Ausholen 112 Grad und beim Schlage 127 Grad. Hier findet also eine Bewegung von 15 Grad statt. Im Handgelenk war beim Ausholen der Winkel des Unterarmes gegenüber dem Hammerstiel 111 Grad groß und beim Schlage 143 Grad. Die Hand wurde gegen den Unterarm um 32 Grad bewegt. (Siehe folgendeTabelle2).

Tabelle 2.

Die Winkel an den Gelenken beim Schlagen mit dem kleinen Hammer.

Gelenk	beim Ausholen	beim Schlag	ausgeführte Bewegung
Schultergelenk	6°	0°	6°
Ellenbogengelenk	112°	127°	15°
Handgelenk	111°	143°	32°

Beim Schlagen mit dem leichten Hammer wird im Gegensatz zu dem mit dem schweren Hammer die größte Bewegung im Handgelenk ausgeführt, eine kleinere im Ellenbogengelenk und die allerkleinste im Schultergelenk, wobei der Oberarm eine Bewegung von rückwärts nach vorwärts macht. Diese Verhältnisse lassen sich am klarsten in einer schematischen Zeichnung, wie in Abbildung 3, gegenüberstellen.

Sägen.

Bei dem nun folgenden Versuch wurde als Werkzeug eine kleine Handsäge von 40 cm Länge verwendet. Die Versuchsperson stand nach Art der angegebenen Versuchsordnung an dem Tisch

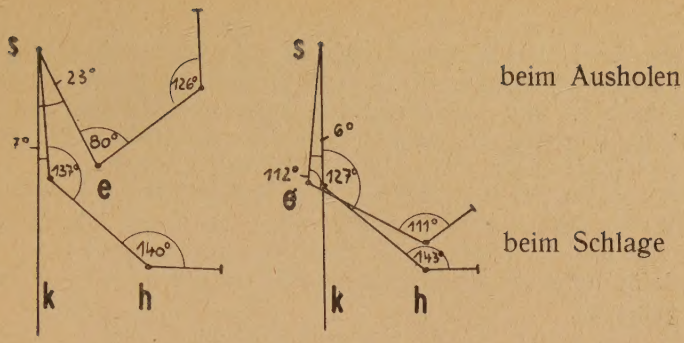

Abb. 3 Die Winkelstellungen der Armgliederachsen bei der Tätigkeit mit dem schweren und leichten Hammer, s Schultergelenk, e Ellenbogengelenk, h Handgelenk, k Körpersenkrechte.

und sägte auf diesem ein Stück Holz. Die Bewegungen wurden ebenfals senkrecht zur Schirmebene ausgeführt und gingen dabei vorwärts und rückwärts. Dabei blieb der Arm in der vordersten und hintersten Lage einige Zeit in Ruhe. Auch hier wurden die Bilder, welche der Umkehrstellung entsprachen, aus der Aufnahmeserie herausgesucht und an ihnen die Winkel in der für das Hämmern beschriebenen Weise gemessen. Diese beiden Bilder sind in Abbildung 4 wiedergegeben.

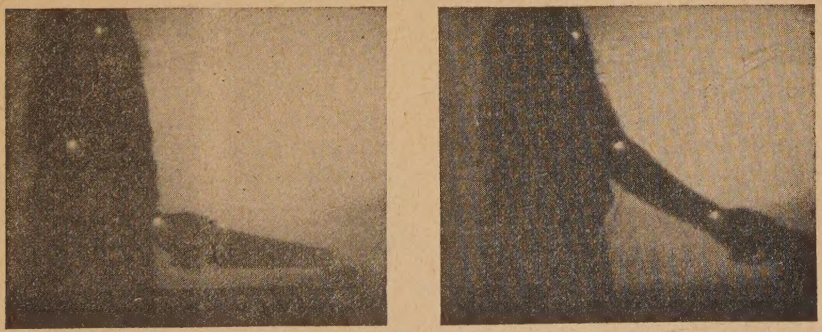

Abb. 4 Schattenbilder vom Sägen bei der hintersten und vordersten Armstellung. Der rechte Arm ist entblöst, der Oberkörper und linke Arm bekleidet.

Der Oberarm war von der Ausgangsstellung aus bei dem hinteren Wendepunkt um 14 Grad nach rückwärts und beim vorde-

ren Punkt um 20 Grad nach vorn bewegt. Die Bewegung betrug also 34 Grad. Im Ellenbogengelenk betrug der Winkel zwischen Oberarm- und Unterarmachse beim hinteren Halt 115 Grad und beim vorderen 147 Grad. Es wurde demnach eine Bewegung von 32 Grad ausgeführt. Das Handgelenk stand hierbei, wie beim Hämmern, in Mittelstellung von Pronation und Supination. Der Winkel hier war hinten 127 Grad und vorn 136 Grad groß. Es fand also im Handgelenk eine Bewegung von 9 Grad statt. Auch dafür habe ich die Ergebnisse in die Form einer Tabelle (Nr. 3) gebracht.

Tabelle 3.

Die Winkel in den Gelenken beim Sägen.

Gelenk	bei Rückwärtsstellung	bei Vorwärtsstellung	ausgeführte Bewegung
Schultergelenk	— 14 °	20 °	34 °
Ellenbogengelenk	+ 115 °	147 °	32 °
Handgelenk	+ 127 °	136 °	9 °

Die Aktionsgrößen im Schulter- und Ellenbogengelenk sind beim Sägen fast einander gleich. Dagegen findet im Handgelenk eine sehr geringe Bewegung statt.

Die maximalen willkürlichen Bewegungen der oberen Extremität.

Bisher wurden die maximalen Winkelgrößen bestimmt, die bei einigen Tätigkeiten in den Gelenken der oberen Extremität auftreten. Zum Vergleich damit wurden nun die größtmöglichen Drehungen in den Gelenken untersucht.

Hierzu wurde die in Abb. 5 wiedergegebene Einrichtung benützt. Sie besteht aus zwei durch ein Scharnier c zusammengehaltene gleichgroße Brettchen a und b, an deren Seite ein in der Linie 1—1 durchschnittener Transporteur angebracht wurde, dessen beide Hälften mit d und e bezeichnet sind. Bei jeder Winkelstellung der Brettchen werden die beiden Hälften des Transporteurs übereinander geschoben. Bei Winkeln unter 90 Grad wird der Teil d hinter dem Brettchen b, aber vor der Gradeinteilung hindurchgeführt, wie es auf Abb. 6 dargestellt ist. Damit dies möglich wird, ist der Teil e gegen sein Zentrum hin durch den Rand f verbreitert, und nur er allein am Brettchen befestigt. Mit dieser Einrichtung kann man Winkel von 0 Grad bis 180 Grad bestimmen. Ähnlicher Einrichtungen hatten sich schon im hiesigen Institut Kretschmer [1]) und andere [2]) bedient.

[1]) J. Kretschmer. Über den Ballenfuß und die Fußballenwinkel. Diss. Breslau 1939.

[2]) P. Woitzik. Über das Auf- und Abwärtsgehen unter verschiedenen Bedingungen. Diss. Breslau 1936.

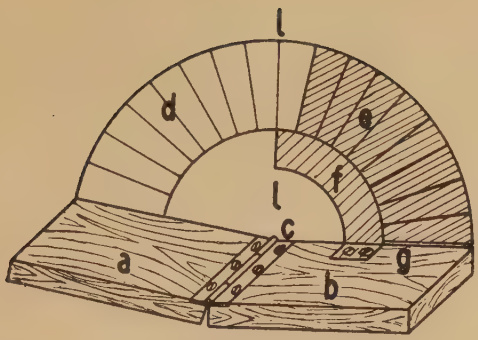

Abb. 5 Meßeinrichtung für Winkel bis zu 180 Grad in Grundstellung. Zur Unterscheidung ist der Quadrant e dunkel getönt. g stellt die Befestigung des Teiles e am Brettchen dar.

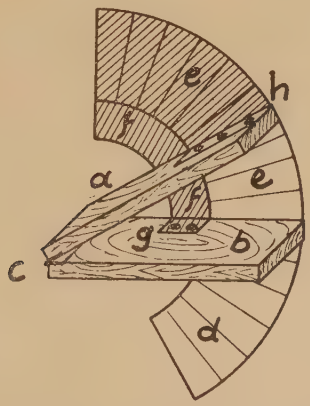

Abb. 6 Dieselbe Meßeinrichtung bei Stellungen unter 90 Grad. Die Befestigung des Teiles d ist mit h bezeichnet, bei welcher der Transporteur auf der dem Scharnier entgegengesetzten Seite des Brettchens angebracht ist.

Da aber oft Winkel über 180 Grad zu messen sind, wurde eine zweite ähnliche Einrichtung gebaut, bei welcher der Transporteur an der Breitseite eines Brettchens befestigt ist. (Siehe Abb. 7).

Mit diesen beiden Einrichtungen sind besonders die maximalen Bewegungen der Zehen gemessen worden. Ähnliche, aber größere Vorrichtungen wurden zur Messung der Bewegungen in den Gelenken des Armes und der Beine angewendet.

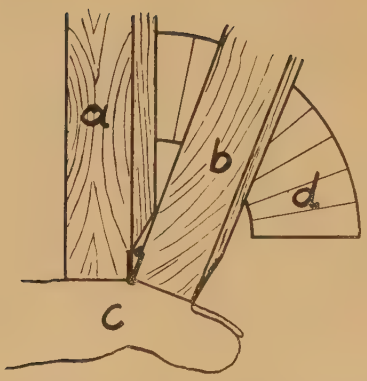

Abb. 7 Winkelmaß für Winkel über 180 Grad. Am Brettchen a ist der Transporteur befestigt, wobei sich das zweite Brettchen b um das Scharnier c bewegt.

Entsprechend den in der sagittalen Ebene ausgeführten Berufstätigkeiten wurden für die willkürlichen Bewegungen auch nur die in dieser Ebene ausführbaren berücksichtigt. Der Oberarm konnte willkürlich aus der senkrecht herabhängenden Stellung nach hinten um 60 Grad bewegt werden, nach vorn oben um 205 Grad. Die maximale Bewegung des Oberarmes in der Schulter betrug also 265 Grad. Im Ellenbogengelenk, in dem als Scharniergelenk nur Beugung und Streckung ausführbar sind, konnte der Unterarm bis 180 Grad gestreckt werden. Der größte Beugungswinkel des Unterarmes gegen den Oberarm betrug hier 45 Grad. Die gesamte maximale Bewegung war hier 135 Grad groß. Die maximale Abwinkelung am Handgelenk in Mittelstellung der Hand betrug, an der ulnaren Seite gemessen, bei Radialabduktion 195 Grad und bei Ulnarabduktion 115 Grad, also die gesamte Bewegung 80 Grad.

Als maximale willkürliche Bewegung können wir verzeichnen:

im Schultergelenk	265 °
im Ellenbogengelenk	135 °
im Handgelenk	80 °

Vergleich der beiden Bewegungsarten für die obere Extremität.

Am besten dürfte sich die Beziehung der maximalen willkürlichen Bewegungen zu den bei den untersuchten Tätigkeiten vorkommenden übersehen lassen, wenn diese beiden Arten in einer Tabelle einander gegenübergestellt werden. Dies ist in Tabelle 4 geschehen.

Tabelle 4.

Gelenk	Tätigkeiten			
	Schlagen mit großem Hammer	Schlagen mit kleinem Hammer	Sägen	willkürliche Bewegungen
Oberarm	20°	6°	34°	265°
Ellenbogen	57°	15°	32°	135°
Hand	14°	32°	9°	80°

In den Abbildungen 8—10 ist die maximale willkürliche Bewegung, sowie die für das Schlagen mit einem kleinen Hammer für das Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk dargestellt nach der Art, wie Basler [1]) sie einmal für das Sprunggelenk skizziert hatte.

Abb. 8 Schultergelenk, Schlagen mit kleinem Hammer. Der mit Querstrichen versehene Winkel stellt die Größe der Arbeitsbewegung dar.

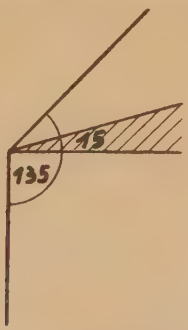

Abb. 9 Ellenbogengelenk, Schlagen mit kleinem Hammer.

[1]) A. Basler. „Arbeitsphysiologie" Bd. 10, S. 188, 1938.

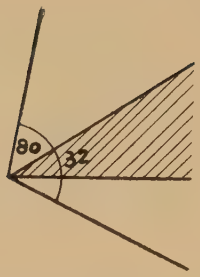

Abb. 10 Handgelenk, Schlagen mit kleinem Hammer.

Die relative Größe der Tätigkeitsbewegung.

Bisher wurden die Größen der Gelenkbewegungen des Armes bei einigen Arbeiten bestimmt und dann die größtmöglichen willkürlichen Bewegungen. Als Ausdruck der gegenseitigen Beziehungen läßt sich ein Quotient bilden zwischen der größtmöglichen Bewegung B als Nenner und der bei einer Arbeit erforderlichen Bewegung b als Zähler. Dieser Quotient gibt die relative Größe der Arbeitsbewegung an.

Um so bessere Vergleichsmöglichkeit zu haben, rechnete ich dieses Verhältnis in Prozenten aus nach der Formel $x = \frac{100 \cdot b}{B}$, wie das auch Sombek [1]) und Hahn [2]) für die Kraft der Zehen gemacht haben. Die Werte sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5.

Gelenk	Schlagen mit großem Hammer		Schlagen mit kleinem Hammer		Sägen	
Oberarm	absolute Zahlen	Proz.	absolute Zahlen	Proz.	absolute Zahlen	Proz.
Oberarm	20/265 °	7,5%	6/265 °	2%	34/265 °	13%
Ellenbogen	57/135 °	42 %	15/135 °	11%	32/135 °	24%
Hand	14/80 °	18,5%	32/80 °	40%	9/80 °	11%

Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß das Verhältnis von Tätigkeitsbewegung und maximaler, willkürlicher Bewegung je nach den Gelenken und der verrichteten Arbeit durchaus verschieden ist, aber es wird meist nur ein Bruchteil der möglichen Bewegung ausgenutzt.

Beim Schlagen mit einem schweren Hammer wird im

[1]) L. Sombek. Über den Einfluß des Schuhes auf die Zehenkraft. „Arbeitsphysiologie 1936", Bd. 9, S. 608.
[2]) J. Hahn. „Arbeitsphysiologie 1936", Bd. 9, S. 480.

Ellenbogengelenk, aber bei der Arbeit mit dem kleinen Hammer im Handgelenk fast die Hälfte der möglichen Bewegungen ausgenutzt, sonst viel weniger. Andererseits besteht beim Sägen im Schultergelenk und Handgelenk fast das gleiche Verhältnis von etwa 12 % der möglichen Bewegung. Am größten ist hier das Verhältnis am Ellenbogengelenk mit 24 %. Trotzdem lassen sich bestimmte Verhältnisse der gegenseitigen Beziehungen zwischen den Gelenkbewegungen bei Arbeiten und den größtmöglichen Bewegungen nicht feststellen.

Die Bewegungen der unteren Extremität beim Gehen.

Für die untere Extremität wurde die Tätigkeit im Gehen untersucht. Bei den hier erforderlichen Versuchen konnte der Kinoapparat keine Verwendung finden, weil sich das Gehen über einen zu großen Raum erstreckt. Ich gebrauchte deshalb jetzt einen photographischen Apparat mit feststehender Platte, bei dem vor dem Objektiv des Apparates eine rotierende Scheibe angebracht war. Der Gehakt wurde so in seinen einzelnen Phasen aufgenommen. An der Versuchsperson waren, wie bei dem Arm, elektrische Glühlampen befestigt, an der Seite des Hüftgelenkes, des Knies, des äußeren Knöchels und am Fußrücken.

Sie erschienen auf der Photographie als Lichtpunkte. Da man aber bei den fertigen Aufnahmen die zu einer Phase gehörenden Punkte nicht mehr zusammengefunden hätte, wurden die Lampen, welche die Gelenke bezeichneten, durch Zwischenlampen verbunden. Ähnlich, wie das in verschiedenen Arbeiten des Instituts beschrieben ist [1]) Mit diesen Lampen ausgerüstet, ging die unbekleidete Versuchsperson in einem verdunkelten Zimmer in einer Entfernung von 6 Meter vor dem Apparat vorbei. Wie bei den Armbewegungen, wurden hier auf der entwickelten Platte die Gelenkpunkte durch Striche verbunden und ihre Winkel gemessen.

Die Winkel der Glieder beim Gehen.

Zuerst wurde eine Aufnahme von der Versuchsperson im Stehen zur Messung der Winkel als Ausgangsstellung gemacht. Auf dieser Platte zeigte sich, daß die Oberschenkelachse mit ihrem unteren Ende gegenüber der Senkrechten um 2 Grad nach hinten stand. Das Knie war gestreckt und bildete einen Winkel von 180 Grad. Am äußeren Knöchel bestand zwischen der Unterschenkelachse und dem Fußrücken ein Winkel von 100 Grad.

Beim Gehakt selber wurde der Oberschenkel von der

[1]) G. Tiller. „Arbeitsphysiologie", Bd. 9, S. 332, 1936.

Ausgangsstellung aus um 13 Grad nach rückwärts bewegt und dann beim Vorwärtsschwingen des Beines um 24 Grad gehoben. Die Bewegung betrug also 37 Grad. Im Kniegelenk kam kurz vor der Hüftdrehung[1]) der größte Winkel der Beugung zwischen Ober- und Unterschenkelachse zustande und zwar von 122 Grad [2]). Während der Schwingung selbst wurde der Unterschenkel gestreckt, und beim Auftreten des Fußes nahm die Streckung wieder ab. Der Unterschenkel wurde somit im Kniegelenk um 58 Grad bewegt. Im Sprunggelenk bildete sich beim Abdrücken des Fußballens vom Boden der größte Beugungswinkel von 126 Grad. Der größte Streckungswinkel betrug hier 93 Grad. Es fand danach im Sprunggelenk eine Bewegung von 33 Grad statt.

Für die Bestimmung der Zehenbewegung beim Gehakt mußte die beschriebene Versuchsanordnung mit der feststehenden Platte geändert werden, weil das aufzunehmende Objekt zu nahe am Boden stand. Der photographische Apparat a (Abb. 11) mit der rotierenden Scheibe h stand deshalb senkrecht und es wurde über einen um 45 Grad schräg gestellten Spiegel g photographiert. [3]).

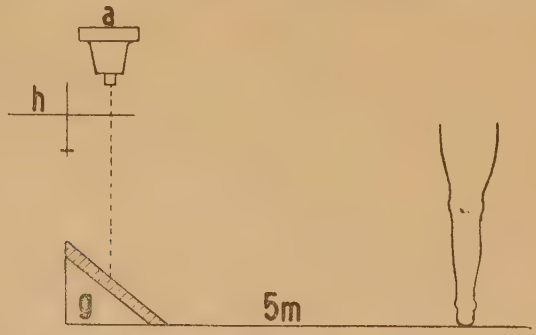

Abb. 11 Schematische Darstellung des photographischen Aufnahmeapparates mit dem schräggestellten Spiegel.

Wie bei den oben beschriebenen Versuchen waren wiederum am Fußrücken und an der Zehe Lichtpunkte angebracht, mit denen die Versuchsperson in 5 Meter Abstand vor dem Spiegel vorbeiging. Die Messungen erstreckten sich auf die erste und zweite Zehe. Die Abbildung 12 gibt ein Bild von diesen Lichtpunkten am Fuß wieder.

[1]) A. Basler. „Das Gehen", Canton 1929.

[2]) Dabei handelt es sich um Tatsachen, die durch die Untersuchungen von O. Fischer und späteren Forschern genau bekannt sind. Wenn ich diese Dinge nochmals nachgeprüft habe, geschah es, um gerade für jede einzelne meiner Versuchsperson die Gehbewegungen zu fixieren.

[3]) A. Basler. „Arbeitsphysiologie", Bd. 9, S. 330, 1936.

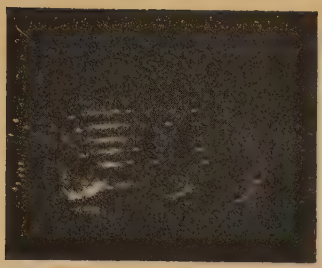

Abb. 12 Eine Aufnahme von der Gehbewegung des Fußes. An den Lichtpunkten läßt sich auch die Zehenbewegung erkennen.

Nach den Lichtpunkten der entwickelten Platte wurden zuerst die Winkel zwischen Fußrücken und der Zehe in der Ausgangsstellung gemessen, dann die bei den einzelnen Phasen während der Schwingung des Beines. Aus der Differenz beider Winkel erhielt ich folgende Werte für die Bewegungen der Zehen.

	Am Ende des Stemmens	während des Schwingens in den Phasen:				
		I	II	III	IV	V
Zehe I	56°	50°	41°	30°	37°	40°
Zehe II	39°	34°	27°	14°	17°	22°

Die Phase I schließt sich unmittelbar an das Stemmen an, die Phase V bildet den Übergang zum Stützen.

Wie man sieht, trat die stärkste Streckbewegung der Zehen am Schlusse des Stemmens auf. Sie betrug bei meiner Versuchsperson für die große Zehe 56 Grad und für die zweite Zehe 39 Grad. Diese Bewegung ist wohl rein passiv bedingt. Eine zweite, aktive Erhebung im Laufe eines Schrittes haben wir schon in der Mitte des Schwingens vor uns. Diese erreicht ihren Höhepunkt in dem Moment, wo der Fuß mit der Hacke aufgesetzt wird. Nach meinen Untersuchungen betrug dieser Winkel der aktiven Streckung für die große Zehe 40 Grad und für die zweite Zehe 22 Grad. Zur Übersicht sind die Ergebnisse der Gliedbewegungen für alle Gelenke der unteren Extremität beim Gehen in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6.

Gelenk	Ausgangsstellung	Beugung	Streckung	Gesamtbewegung
Hüftgelenk	2°	13°	24°	37°
Kniegelenk	180°	58°	—	58°
Sprunggelk.	100°	26°	7°	33°
I. Zehe	—	—	56°	56°
II. Zehe	—	—	39°	39°

Die maximalen willkürlichen Bewegungen der unteren Extremität.

Wie bei der oberen Extremität wurden auch hier wieder zum Vergleich die größtmöglichen willkürlichen Bewegungen gemessen. Dies geschah mit den gleichen Einrichtungen, wie bei der oberen Extremität.

Beim Gehen wurde das Bein in einer sagittalen Ebene durch Beugung und Streckung bewegt. Der Oberschenkel konnte von der Ausgangsstellung von — 2 Grad aus bei feststehenden Becken maximal nach hinten um 28 Grad gebeugt werden und nach vorn als größte Streckung um 122 Grad gehoben werden. Danach kann willkürlich der Oberschenkel um 150 Grad bewegt werden. Für das Kniegelenk betrug der maximale Beugungswinkel zwischen Ober- und Unterschenkel 45 Grad. Die größte Streckung war hier 180 Grad groß. Die größtmögliche Bewegung betrug somit im Kniegelenk 135 Grad. Am Fußgelenk maß ich als größten Beugungswinkel zwischen Unterschenkel und Fußrücken 160 Grad und als größten Winkel bei Streckung 85 Grad. Bezogen auf die Ausgangsstellung des Fußes (100 Grad) betrug die maximale Beugung 60 Grad und die größte Streckung 15 Grad. In der Gesamtbewegung von Beugung und Streckung konnte der Fuß im Sprunggelenk um 75 Grad bewegt werden.

An den Zehen wurden nur die maximalen Streckungswinkel bestimmt, weil beim Gehen keine Beugung der Zehen stattfindet. Wie beim Gehakt wurden an der ersten und zweiten Zehe zuerst die Winkel in der Ausgangsstellung und dann bei maximaler Streckung gemessen. Die Differenz beider Winkel ergab als größtmögliche Dorsalflexion für die große Zehe 63 Grad und für die zweite Zehe 48 Grad. [1]) Die Tabelle 7 gibt zusammengefaßt die größtmöglichen Bewegungen am Bein wieder.

Tabelle 7.

Gelenk	Beugung	Streckung	Gesamtbewegung
Hüftgelenk	28 °	122 °	150 °
Kniegelenk	135 °	—	135 °
Sprunggelenk	60 °	15 °	75 °
Große Zehe	—	63 °	63 °
II. Zehe	—	48 °	48 °

[1]) E. Sauermann. Der bleibende Einfluß des Barfußgehens auf den Fuß. Diss. 1936.

Die relative Größe der Gliedbewegungen beim Gehen.

Wie bei den Arbeiten mit dem Arm wurde nun auch für das Gehen das Verhältnis zwischen Tätigkeitsbewegung und größtmöglicher willkürlicher Bewegung entsprechend den Quotienten b/B untersucht. Auch hier sind die Werte für die relative Arbeitsbewegung in Tabelle 8 zusammengestellt und in Prozenten ausgerechnet.

Tabelle 8.

Gelenk	Beugung		Streckung		Gesamtbewegung	
	absolute Zahlen	Proz.	absolute Zahlen	Proz.	absolute Zahlen	Proz.
Hüfte	13/28 °	46%	24/122 °	20%	37/155 °	27%
Knie	58/135 °	43%	—	—	58/135 °	43%
Fuß	26/60 °	43%	7/15 °	46%	33/75 °	44%
I. Zehe	—	—	56/63 °	88%	56/63 °	88%
II. Zehe	—	—	39/48 °	81%	39/48 °	81%

Beim Gehen wird im Hüft-, Knie- und Sprunggelenk etwa die Hälfte der Beugungsmöglichkeit ausgenützt. Bei der Streckung findet im Hüftgelenk 20 % und im Sprunggelenk 46 % der Bewegungsausnutzung statt. Ähnliche Verhältnisse ergaben sich für die Gesamtbewegung von Beugung und Streckung. Hierbei werden im Hüftgelenk 27 %, im Knie- und Fußgelenk fast 50 % der größtmöglichen Bewegung ausgeführt. An den Zehen erfolgte beim Gehen nur eine Streckbewegung. Das Bewegungsverhältnis ist mit 88 % für die große Zehe und mit 81 % für die zweite Zehe sehr groß. Es wird hierbei fast die ganze größtmögliche Bewegung ausgeführt. Bei verschiedenen Versuchspersonen blieben die Bewegungen beim Gehen annähernd gleich. Die relative Tätigkeitsbewegung der Zehen beim Gehen schwankte innerhalb mäßig weiter Grenzen, obwohl die maximalen willkürlichen Bewegungen große individuelle Unterschiede aufwiesen.

Vergleichende Untersuchungen über die willkürlichen maximalen Zehenbewegungen.

Bei den Messungen der willkürlichen, maximalen Zehenbewegungen stellte ich bei verschiedenen Personen große Unterschiede fest, während bei den anderen Gelenken diese Schwankungen unbedeutend waren.

Diese Abweichungen veranlaßten mich, noch weitere Reihenuntersuchungen hierüber durchzuführen. Die Messungen selbst wurden in der oben angegebenen Weise für die willkürlichen Bewegungen der Zehen vorgenommen und zwar an allen Zehen

beider Füße für die Dorsal- und Plantarflexion im 1. und 2. Gliede.

In Tabelle 9 sind die wichtigsten Ergebnisse für die erste und zweite Zehe als größter, kleinster und Mittelwert zusammengestellt.

Tabelle 9.

Maximale willkürliche Bewegungen der Zehen.
Abwinkelung in Winkelgraden.

		Dorsalflexion männlich			Dorsalflexion weiblich			Plantarflexion männlich			Plantarflexion weiblich		
Alter Jahre	Zehe	gr. Wert	kl. Wert	Mittelw.	gr. Wert	kl. Wert	Mittelw.	gr. Wert	kl. Wert	Mittelw.	gr. Wert	kl. Wert	Mittelw.
7—10	I.	69	49	59	75	56	67	56	39	46	43	34	38
	II.	60	47	54	70	44	54	64	40	52	50	38	44
10—20	I.	92	53	72	89	42	67	47	21	37	48	21	28
	II.	69	44	54	59	40	50	65	35	50	46	24	27
20—30	I.	65	45	56	73	43	61	52	14	30	49	22	32
	II.	55	30	42	61	35	51	64	24	42	52	16	38
30—40	I.	68	42	53	68	42	58	52	14	34	39	19	29
	II.	53	35	43	57	32	46	50	21	37	44	17	28
40—50	I.	58	38	50	59	43	52	43	30	37	33	20	25
	II.	43	25	35	54	33	45	49	38	43	40	19	30

Als auffallendster Befund sei erwähnt, daß bei kleinen Kindern von 6—8 Jahren die Beweglichkeit der Zehen kleiner war als bei großen Kindern und Jugendlichen. Ferner besteht bei den kleinen Kindern eine fast gleichgute hohe Beweglichkeit aller Zehen bei Streckung und Beugung. Als markantes Beispiel seien die Ergebnisse der Dorsalflexion von einem 6jährigen kleinen Mädchen und einer 14jährigen Schülerin einander gegenübergestellt.

	Zehen. I.	II.	III.	IV.	V.
6jähriges Kind weibl.	63°	60°	63°	60°	51°
14jährige Schülerin	80°	53°	47°	45°	38°

Die erwähnte Tatsache ist um so auffallender, als das kleine Kind meist spielend herumläuft, während die Schülerin die Periode des Längenwachstums durchgemacht hat und jetzt fast arbeitsmäßig mit festen Schuhen zur Schule geht. [1]) Es tritt dabei eine überragende Bewegung der ersten Zehe bei der Streckung (20—30 Grad) und der zweiten Zehe bei der Beugung (10—20 Grad) auf. Dies zeigt sich besonders bei den Barfußgängern und bis in die späteren Lebensjahre hinein bei Leuten, die weite Schuhe tragen.

[1]) E. Sombel. Über den Einfluß des Schuhes auf die Zehenkraft. „Arbeitsphysiologie", Bd. 9, S. 607, 1936.

Mit dem Alter nimmt die Beweglichkeit der Zehen im allgemeinen ab. Dieser Vorgang macht sich schon in dem Jahrzehnt zwischen 20 und 30 Jahren bemerkbar. Dabei geht die überwiegende Bewegung der großen Zehe bei der Streckung und bei der zweiten Zehe in der Beugung zurück.

Eine größere Beweglichkeit der Zehen des rechten Fußes gegenüber denen des linken Fußes findet sich besonders bei Sportlern und den Arbeitern mit stärkerer Belastung des rechten Fußes. So kann z. B. ein Arbeiter, der an einer Drehbank beschäftigt ist, rechts die I. und II. Zehe um 59 Grad und 47 Grad strecken, dagegen links nur um 43 Grad und 35 Grad.

Die Fußbekleidung und besonders die engen Schuhe bewirken nach Sombek [1]) und andern eine große Herabsetzung der Zehenfunktion. Erika Sauermann [2]) ließ ihre Versuchspersonen barfuß laufen und stellte dabei eine große Zunahme der Bewegungen und der Kraft der Zehen fest. Bei meinen Untersuchungen konnte ich eine so überragende Einwirkung der Schuhe auf die Zehenbeweglichkeit nicht finden. Das dürfte damit zu erklären sein, daß die Angaben über die meist getragene Fußbekleidung sehr unzuverlässig waren. Eine Frau, die zwar keine Strümpfe, aber enge Schuhe trägt, sagt unter Umständen, sie gehe barfuß, eine andere, die angeblich dauernd Schuhe trägt, hat ihre Füße den ganzen Tag in ausgeweiteten Halbschuhen stecken, die mechanisch ohne Bedeutung sind.

Die auch von mir gefundene geringe Herabsetzung der Zehenbeweglichkeit durch die Schuhe machte sich zuerst d. h. im Alter von 15 bis 20 Jahren, bemerkbar bei der Beugung und erst später (von 20 Jahren ab) sicher bei der Streckung, wobei die letzten beiden Zehen jeweils stärker betroffen wurden. Zwischen den beiden Geschlechtern war mit Sicherheit ein Unterschied in der Bewegung nicht nachweisbar.

Wiederholt ließ sich feststellen, daß bei Versteifung in einem Gelenk das andere an der gleichen Zehe in kompensatorischer Weise höhere Bewegungsgrade besitzt.

Zusammenfassung.

1. Von einer Versuchsperson, die mit dem Arm verschiedene berufliche Tätigkeiten ausführte, wurden als Schattenbilder kinematographische Aufnahmen hergestellt. Dabei waren die Gelenke des Armes durch elektrische Glühbirnen kenntlich gemacht.

---

[1]) E. Sombek. Über den Einfluß des Schuhes auf die Zehenkraft. „Arbeitsphysiologie", Bd. 9, S. 607, 1936.

[2]) E. Sauermann. Der bleibende Einfluß des Barfußgehens auf den Fuß. Diss. 1936.

2. Mit Hilfe dieser Methode wurden die Winkelstellungen der Gelenke und deren Bewegungen beim Schlagen mit einem großen und kleinen Hammer und beim Sägen gemessen.
3. Nun wurden an der gleichen Versuchsperson die größtmöglichen ausführbaren Gelenkbewegungen des Armes festgestellt und die Ergebnisse beider Bewegungsarten miteinander verglichen.
4. Hierbei stellte es sich heraus, daß bei den untersuchten Arbeiten mit dem Arm dies Verhältnis für die einzelnen Bewegungen durchaus verschieden ist. So beträgt z. B. die relative Größe der Gliedbewegungen beim Schlagen mit dem großen Hammer für das Schultergelenk 7,5 %, für das Ellenbogengelenk 42 % und für das Handgelenk 18,5 %, dagegen beim Schlagen mit dem kleinen Hammer für die Schulter 2 %, für den Ellenbogen 11 % und die Hand 40 %.
5. Am Bein sind dann mit ähnlicher Methode die gleichen Beziehungen für die Tätigkeit des Gehens untersucht worden. Dabei zeigte sich, daß beim Gehen im Hüftgelenk über ein Viertel, im Knie- und Sprungelenk fast die Hälfte der größtmöglichen willkürlichen Bewegung verwendet wird.
6. Die Bewegung an den Zehen während des Gehens war sehr groß im Verhältnis zur größtmöglichen willkürlichen Bewegung und betrug für den Halux 88 % und die II. Zehe 81 %.
7. Bei den Reihenuntersuchungen über die maximalen willkürlichen Zehenbewegungen konnte eine überwiegende Beweglichkeit der großen Zehe bei der Streckung und der zweiten Zehe bei der Beugung festgestellt werden.
8. Bei kleinen Kindern bestand eine geringere Beweglichkeit der Zehen als bei großen Kindern und Jugendlichen.
9. Bei Erwachsenen trat eine Abnahme der Zehenbeweglichkeit mit steigendem Alter auf.
10. Eine Abhängigkeit der Fußbekleidung und ein Unterschied zwischen rechtem und linkem Fuß, sowie zwischen beiden Geschlechtern war mit Sicherheit nicht nachweisbar.

Zum Schlusse spreche ich Herrn Professor Dr. Adolf Basler meinen herzlichsten Dank aus für die Unterstützung bei der Ausführung meiner Arbeit und die wertvollen mir erteilten Ratschläge.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Hans Jürgen Hanow, am 25. 2. 1911 zu Lissa, Provinz Posen, als Sohn des Studienrats Dr. Benno Hanow und seiner Ehefrau Else, geb. John.

Im Jahre 1919 vor der Besetzung der Stadt Lissa durch die Polen wurde mein Vater nach Oels versetzt. Hier besuchte ich das Gymnasium. Anfang Januar 1929 ging ich infolge Versetzung meines Vaters nach Breslau auf das hiesige König Friedrich-Gymnasium über, wo ich Ostern 1931 die Reifeprüfung bestand. Anschließend studierte ich Medizin in Breslau, Freiburg und Berlin. Am 1. Juli 1937 bestand ich in Breslau die medizinische Staatsprüfung. Nach Ableistung des praktischen Jahres wurde mir mit Wirkung vom 2. Januar 1938 die Bestallung als Arzt erteilt, da ich vom Herbst 1934 bis Herbst 1935 freiwillig in der Wehrmacht gedient hatte. Ende August 1939, mit Beginn des Krieges, wurde ich wieder zum Heer eingezogen, habe als Truppenarzt am Feldzug in Polen und im Juni 1940 am Oberrhein beim Angriff auf die Maginotlinie teilgenommen. Für meinen persönlichen Einsatz erhielt ich als Auszeichnung das E. K. 2. Klasse. Zur Zeit bin ich Assistenzarzt in einem Reservelazarett.